

不同波长 LED 光源对韭菜迟眼蕈蚊 生殖行为的影响

李娜^{1,2}, 范凡^{1,2}, 韩慧^{1,2}, 裴晓亚^{1,2}, 刘顺^{1,2,*}, 魏国树^{1,2,*}

(1. 河北农业大学植物保护学院, 河北保定 071001; 2. 河北省农作物病虫害生防工程中心, 河北保定 071001)

摘要:【目的】明确不同波长的 LED 光源对韭菜迟眼蕈蚊 *Bradysia odoriphaga* Yang et Zhang 求偶、交配及繁殖等生殖行为的影响。【方法】采用红(625~630 nm)、橙(600~605 nm)、黄(590~595 nm)、绿(525~530 nm)、蓝(455~460 nm)和白(6 000~6 500 k)6 种 LED 光源在韭菜迟眼蕈蚊成虫交配期进行照光处理,观察统计其求偶和交配行为以及单雌产卵量、卵孵化情况和有效后代数量。【结果】韭菜迟眼蕈蚊成虫求偶前期时长在橙光下最长,为 28.48 min。求偶率在蓝光下最高,为 86%;橙光下最低,为 48%。交配期时长在蓝光下最长,为 4.59 min;橙光下较短,为 4.23 min。单雌产卵量在各波长光源下与对照均无显著差异。卵孵化率在蓝光下最低,仅为 43.41%。有效后代数量在蓝光下最低,仅为 27.00 头;橙光下次之,为 43.40 头。【结论】LED 光源的波长可影响韭菜迟眼蕈蚊的生殖行为,其中橙光(600~605 nm)不利于其求偶、交配和繁殖;蓝光(455~460 nm)虽有利于其求偶和交配,但明显抑制其繁殖。

关键词: 韭菜迟眼蕈蚊; LED 光源; 求偶行为; 交配行为; 繁殖力

中图分类号: Q965 **文献标识码:** A **文章编号:** 0454-6296(2016)05-546-06

Effects of LED lights at different wavelengths on the reproductive behaviors of *Bradysia odoriphaga* (Diptera: Sciaridae)

LI Na^{1,2}, FAN Fan^{1,2}, HAN Hui^{1,2}, PEI Xiao-Ya^{1,2}, LIU Shun^{1,2,*}, WEI Guo-Shu^{1,2,*} (1. Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071001, China; 2. Biological Control Center of Plant Pests of Hebei Province, Baoding, Hebei 071001, China)

Abstract: 【Aim】 This study aims to clarify the effects of LED lights at different wavelengths on the reproductive behaviors such as courtship, mating and reproduction of *Bradysia odoriphaga*. 【Methods】 The behaviors of courtship and mating, the number of eggs laid per female, the egg hatching rate and the number of effective offspring of *B. odoriphaga* under six different LED lights (red, 625–630 nm; orange, 600–605 nm; yellow, 590–595 nm; green, 525–530 nm; blue, 455–460 nm; and white, 6 000–6 500 k) were observed and recorded. 【Results】 The precalling period of *B. odoriphaga* was the longest under orange light (28.48 min). The calling rate was the highest under blue light (86%), while was the lowest under orange light (48%). The mating period was the longest under blue light (4.59 min), and was lower under orange light (4.23 min). The number of eggs laid per female had no significant difference between the control group and any experimental group. The egg hatching rate was the lowest under blue light (43.41%). The number of effective offspring was the lowest under blue light (27.00) and was lower under orange light (43.40). 【Conclusion】 The wavelength of LED lights may influence the reproductive behaviors of *B. odoriphaga*. The orange LED light (600–605 nm) is detrimental to its courtship, mating behaviors and reproduction. Blue LED light (455–460 nm) is beneficial

基金项目: 作物根蛆类害虫综合防治技术研究与示范(201303027-6)

作者简介: 李娜, 女, 1988 年 1 月生, 河北衡水人, 硕士研究生, 从事昆虫行为学及 IPM 研究, E-mail: 1035762110@qq.com

* 通讯作者 Corresponding authors, E-mail: liushun155@sina.com; weiguoshu03@aliyun.com

收稿日期 Received: 2016-01-24; 接受日期 Accepted: 2016-04-13

to its courtship and mating behaviors, but significantly restrains its reproduction.

Key words: *Bradysia odoriphaga*; LED light; courtship behavior; mating behavior; fecundity

韭菜迟眼蕈蚊 *Bradysia odoriphaga* Yang *et al* Zhang 属于双翅目眼蕈蚊科,幼虫俗称“韭蛆”,其取食范围较广,可危害百合科、菊科、藜科、十字花科等 7 科 30 多种蔬菜,其中对我国的特色蔬菜——韭菜的危害尤为严重,常致其产量损失 20% ~ 30%,甚至高达 60% (冯惠琴和郑方强,1987)。近年来,随着我国北方产区冬季拱棚设施的广泛应用,为韭菜迟眼蕈蚊的冬季为害创造了更为有利的条件(王承香等,2014)。目前生产上对韭菜迟眼蕈蚊的防治仍以化学防治为主,导致农药残留过量、环境污染加剧,其食用安全现状严峻。这种形势下,研发安全、高效的物理或生物防治方法越来越得到人们的重视(李春杰等,2013;武海斌等,2015;白光瑛等,2015)。

光环境是生物体赖以生存的自然环境条件之一,深刻了解自然或外加光色等物理因素对昆虫生长发育的影响,既有助于揭示昆虫趋光性行为机理,也可为害虫的高效测报和防控技术提供理论基础。研究表明,灯光是害虫防治的一种重要途径(Goretti *et al.*, 2011; 曲昌明,2013; Shimoda and Honda, 2013),其中波长因子可显著影响昆虫的生长发育和繁殖(Sakai *et al.*, 2002; Omkar *et al.*, 2005; Malaquias *et al.*, 2010)。近年来,具有波长范围窄、寿命长、节能环保等优点的 LED 光源发展迅速,其对特定昆虫生长发育、繁殖和趋光性等的影响引起人们的重视(段云等,2009; Katsuki *et al.*, 2013)。以往灯光防控害虫的研究多限于田间防效和趋性行为,鲜有涉及关乎防效的行为成因和机理,且灯光特别是 LED 光源对韭菜迟眼蕈蚊的生长发育和繁殖有何影响至今未见报道。基于此,本研究系统比较了红、橙、黄、绿、蓝、白 6 种 LED 光源处理韭菜迟眼蕈蚊后,其求偶、交配行为及其单雌产卵量、卵孵化率和有效后代数量的差异,试图明确不同波长 LED 光源对韭菜迟眼蕈蚊生殖行为的影响,探讨其灯光防治的可行性,揭示害虫灯光防控的成因和机理,为通过灯光干扰害虫行为活动来防治害虫新技术的研发及应用提供科学依据和参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 供试虫源:韭菜迟眼蕈蚊于 2013 年采自河

北省保定市聂庄韭菜田,在人工气候箱(RXZ-300C,宁波江南仪器厂)中续代培养已超过 40 代。培养条件:温度为 24 ± 1℃,相对湿度为 60% ± 10%,光周期为 14L: 10D,光照强度为 200 lx (慕卫等,2003)。待成虫羽化,备用。

1.1.2 LED 光源及其光强度测定:6 种不同的 LED 光源:红(625 ~ 630 nm)、橙(600 ~ 605 nm)、黄(590 ~ 595 nm)、绿(525 ~ 530 nm)、蓝(455 ~ 460 nm)和白(6 000 ~ 6 500 k),采购自广州市松华光电有限公司。各 LED 光源的光强度由照度计(TES-1339,泰仕电子工业股份有限公司)测得。

1.1.3 试验装置:基于前期工作基础,自制了长方体纸质行为反应箱(图 1,使用 CorelDRAW X6 软件作图),长 × 宽 × 高 = 35 cm × 25 cm × 47 cm。反应箱 a, b, c, d 和 e 五面壁上均贴有一层不透光的白色卡纸,正前方一面透明,便于试验观察。箱顶正中央固定 LED 光源(f),试验时置试虫于洁净透明的 10 mL 小烧杯内,烧杯环放于箱底中央区域(图 1 底面 c 中圆柱体),其位置在不同波长 LED 光源间稍有不同,旨在保证该区域光强度恒定于 500 lx,使处理间具有可比性。

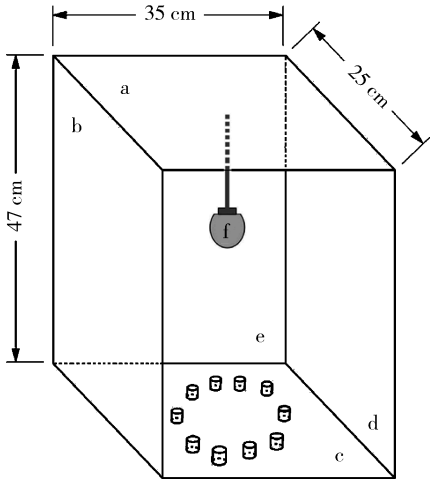


图 1 韭菜迟眼蕈蚊求偶及交配行为反应箱
Fig. 1 The experimental device for courtship and copulation behaviors of *Bradysia odoriphaga*

1.2 不同波长 LED 光源下韭菜迟眼蕈蚊成虫的求偶和交配行为

试验在暗室进行,温度为 24 ± 1℃,相对湿度为 60% ± 10%。选取初羽化、尚未交配的雌雄成虫,单

对置于 10 mL 小烧杯中,封口膜封口,10 对为一次处理。基于预实验,在其求偶和交配活动高峰期,自上午 8:00 开始分别用红、橙、黄、绿和蓝 5 种 LED 光源连续照射 4 h,记录并统计其成虫求偶前期时长、交配时长、求偶率和交配率;以与饲养光照相似的 LED 白光为对照。每一处理重复 5 次。

行为定义:求偶为雄虫弯曲腹部,试探雌虫;交配为雌雄虫腹部末端对接呈“一”字型。

求偶前期时长、交配时长、求偶率和交配率由下式计算得到:

求偶前期时长(min) = 首次开始求偶的时间 - 试验开始的时间;

交配时长(min) = 交配结束的时间 - 交配开始的时间;

求偶率(%) = (求偶雄虫数/雄虫总数) × 100%;
交配率(%) = (交配雄虫数/雄虫总数) × 100%。

1.3 不同波长 LED 光源下韭菜迟眼蕈蚊的繁殖力

1.3.1 不同波长 LED 光源下韭菜迟眼蕈蚊的单雌产卵量:将 1.2 节中成功交配的雌虫单头转入直径 9 cm 的塑料培养皿中,皿底平铺湿润的双层滤纸片保湿,编号后放入人工培养箱中正常饲养至产卵。解剖镜下逐日镜检,观察、记录雌虫产卵量,至雌虫死亡,统计每一处理下的单雌产卵量。

1.3.2 不同波长 LED 光源处理韭菜迟眼蕈蚊后其有效后代数量及所产卵的孵化情况:将 1.3.1 节中雌虫所产的卵编号,放入人工培养箱中正常饲养至其孵化。解剖镜下逐日镜检,观察、记录卵的孵化情况,至能孵化的卵均孵化,统计每一处理下的有效后

代数量(即初孵幼虫数)及卵的孵化率。

1.4 数据分析

试验数据采用 SPSS19.0 数据处理系统进行分析,SigmaPlot12.5 作图。求偶前期时长、交配期时长、单雌产卵量以及有效后代数量采用单因素方差分析(One-way ANOVA),Duncan 氏新复极差法进行差异显著性检验;求偶率、交配率及卵孵化率采用卡方检验法(Chi-square); $P < 0.05$ 视为差异显著。

2 结果

2.1 不同波长 LED 光源对韭菜迟眼蕈蚊成虫求偶行为的影响

不同波长 LED 光源对韭菜迟眼蕈蚊成虫的求偶前期(图 2: A, $F = 10.547$, $df = 5$, $P < 0.05$)和求偶率(图 2: B, $\chi^2 = 39.451$, $df = 5$, $P < 0.05$)有显著影响。与白光对照相比:成虫求偶前期时长在红、橙光下均显著延长,分别为 28.09 和 28.48 min,其中橙光下最长,是对照的 1.92 倍;在绿光下显著缩短,为 6.37 min,仅是对照的 0.43 倍;在黄、蓝光下均与对照无显著差异。求偶率随着光源波长增加而降低,与白光对照相比:在红、橙和黄 3 种光源下均显著降低且此 3 种光源处理两两之间无显著差异,其中红、橙光下最低,均为 48%,仅是对照的 0.56 倍;在绿光和蓝光下均与对照无显著差异。结果表明在红、橙光下成虫求偶受到抑制,绿、蓝光下求偶较活跃。

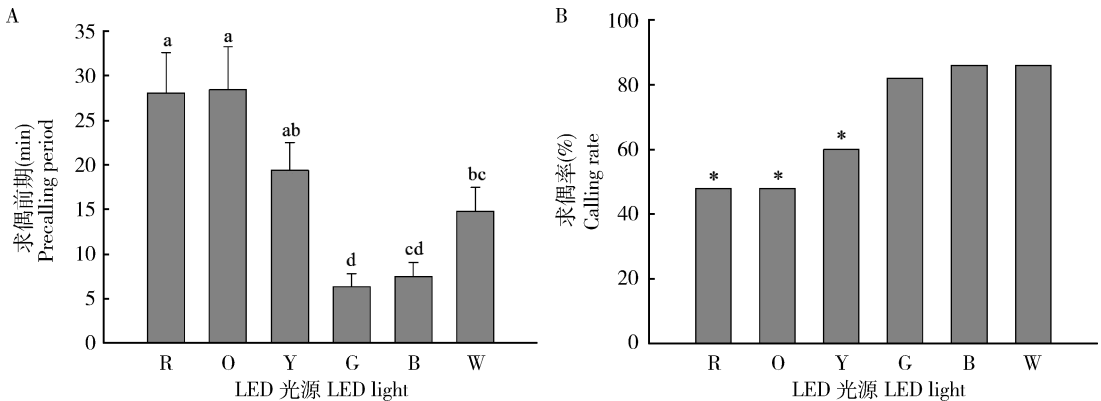


图 2 韭菜迟眼蕈蚊在不同波长 LED 光源下的求偶行为

Fig. 2 The calling behavior of *Bradysia odoriphaga* under different wavelengths of LED lights

R: 红光 Red light, 625 – 630 nm; O: 橙光 Orange light, 600 – 605 nm; Y: 黄光 Yellow light, 590 – 595 nm; G: 绿光 Green light, 525 – 530 nm; B: 蓝光 Blue light, 455 – 460 nm; W: 白光 White light, 6 000 – 6 500 k. 图 A 中各数据均为平均值 ± 标准误,柱上不同大小写字母分别表示其差异显著 (Duncan 氏新复极差法多重比较, $P < 0.05$);图 B 中柱上星号表示与对照 (白光) 差异显著 (卡方检验法, $P < 0.05$). 图 3 同。Data in Fig. A are mean ± SE. Different letters above each bar indicate significant difference (Duncan's multiple comparison test, $P < 0.05$), while the asterisk above the bar in Fig. B indicates significant difference from the control (white light) (Chi-square test, $P < 0.05$). The same for Fig. 3.

2.2 不同波长 LED 光源对韭菜迟眼蕈蚊成虫交配行为的影响

不同波长 LED 光源对韭菜迟眼蕈蚊成虫的交配期(图 3: A, $F=2.570$, $df=5$, $P<0.05$)和交配率(图 3: B, $\chi^2=29.987$, $df=5$, $P<0.05$)有显著影响。成虫交配期时长在红、橙、黄、绿和蓝光 5 种光源间差异不显著,其交配率随光源波长增加而降低。与白光对照相比:交配期时长在红、橙和黄 3 种

光源下均无显著差异;在绿光和蓝光下均比对照显著延长,分别为 4.58 和 4.59 min,均是对照的 1.12 倍。交配率在红、橙和黄 3 种光源下均比白光下显著降低,其中红光下最低,为 46%,仅是对照的 0.55 倍,橙光下次之,为 52%,是对照的 0.62 倍;在绿光和蓝光下均与白光下无显著差异。结果表明在红、橙和黄光下成虫交配受到抑制,绿、蓝光下交配较为活跃。

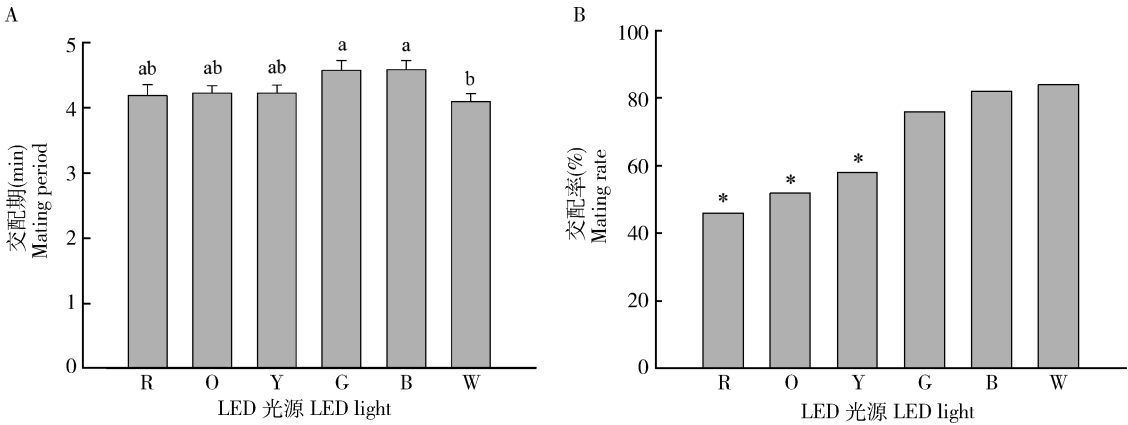


图 3 韭菜迟眼蕈蚊在不同波长 LED 光源下的交配行为
Fig. 3 The copulation behavior of *Bradysia odoriphaga* under different wavelengths of LED lights

2.3 不同波长 LED 光源对韭菜迟眼蕈蚊繁殖力的影响

韭菜迟眼蕈蚊单雌产卵量在不同 LED 光源下(红、蓝光除外)无显著差异(表 1, $F=2.018$, $df=5$, $P=0.091$),红光处理下单雌产卵量显著高于蓝光处理(表 1, $F=5.586$, $df=1$, $P<0.05$)。从均值上看,单雌产卵量在红光下最高,为 104.70 粒,是白光对照的 1.29 倍;在蓝光下最低,为 62.20 粒,仅是对照的 0.77 倍。

不同波长 LED 光源处理韭菜迟眼蕈蚊后,其所产卵的孵化率有显著差异(表 1, $\chi^2=442.664$, $df=$

5, $P<0.05$)。与白光对照相比:卵的孵化率在橙、黄和绿光下均无显著差异;在红光和蓝光下都显著降低,其中在蓝光下最低,为 43.41%,仅是对照的 0.60 倍。结果表明红光和蓝光均不同程度地抑制卵孵化,其中蓝光的抑制作用最强。

不同波长 LED 光源对韭菜迟眼蕈蚊有效后代数量有显著影响(表 1, $F=3.026$, $df=5$, $P<0.05$)。与白光对照相比:其在红、橙、黄和绿光下均无显著差异;在蓝光下显著降低,为 27.00 头,仅是对照的 0.46 倍。结果表明蓝光处理可降低其有效后代数量。

表 1 不同波长 LED 光源下韭菜迟眼蕈蚊繁殖力的比较
Table 1 The fecundity of *Bradysia odoriphaga* under different wavelengths of LED lights

LED 光源 LED light	单雌产卵量 Number of eggs laid per female	卵孵化率(%) Egg hatching rate	有效后代数量 Number of effective offspring
红 Red (625 – 630 nm)	104.70 ± 6.15a	45.18 *	47.30 ± 3.95 abc
橙 Orange (600 – 605 nm)	72.80 ± 4.87 ab	59.62	43.40 ± 3.63 bc
黄 Yellow (590 – 595 nm)	76.80 ± 0.97 ab	76.95	59.10 ± 1.49 ab
绿 Green (525 – 530 nm)	94.40 ± 6.71ab	78.60	74.20 ± 4.51 a
蓝 Blue (455 – 460 nm)	62.20 ± 2.93 b	43.41 *	27.00 ± 3.21 c
白 White (6 000 – 6 500 k)	81.10 ± 2.50ab	72.50	58.80 ± 0.46 ab

表中同列数据后标记不同小写字母表示其差异显著(Duncan 氏新复极差法多重比较, $P<0.05$);星号表示其与对照(白光)差异显著(卡方检验法, $P<0.05$)。Data in the same column followed by different letters are significantly different (Duncan's multiple comparison test, $P<0.05$), and those followed by the asterisk are significantly different from the control (white light) (Chi-square test, $P<0.05$).

3 讨论

自然界中的各种光,如自然光、人造光和物体的反射光等,是一种重要的环境因子,可影响昆虫的生长发育和繁殖,使昆虫产生特定的趋性行为,并在昆虫寻找寄主植物、配偶和产卵场所等行为活动中起到重要作用(Harris *et al.*, 1993; de Cock *et al.*, 2014; Sun *et al.*, 2014)。LED 光源作为其中一种重要的人造光源,已被证实可对特定昆虫的趋光性及生殖等行为产生影响(蒋月丽等, 2008; 朱锦磊等, 2014; Zheng *et al.*, 2014)。本研究发现 LED 光源的波长可影响韭菜迟眼蕈蚊的求偶、交配和繁殖等生殖行为,对揭示通过灯光干扰害虫行为活动来防治害虫的深层原因具有重要意义,为研发潜在的害虫治理新技术提供了理论基础。

本研究结果发现 LED 光源的波长可对韭菜迟眼蕈蚊的求偶和交配行为产生影响。红、橙光下其求偶、交配受到抑制,绿、蓝光下则较为活跃。这表明光的波长因子是影响其性行为的一种重要因素,这种影响在黑腹果蝇 *Drosophila melanogaster* (Sakai *et al.*, 2002)中也有发现。有研究报道韭菜迟眼蕈蚊雄虫表现出求偶或交尾受雌虫性信息素影响(Li *et al.*, 2008)。同时张岩和刘敬泽(2003)发现昆虫性信息素的合成与释放可通过光周期来调控。因此在光期,不同波长的 LED 光源可能是通过控制雌虫性信息素的释放或雄虫对性信息素的识别来调控成虫的求偶和交配行为。但 LED 光源如何调控性信息素的合成与释放有待于进一步研究探讨。

Sakai 等(2002)发现与韭菜迟眼蕈蚊同属双翅目的非洲果蝇 *D. yakuba* 的交配率随光波长增加而增大,而非非洲果蝇的近缘物种 *D. sechellia* 的交配率在一定波长范围内随光波长增加而增大,超过一定波长范围,则随波长增加而降低。而本实验结果显示,在试验光源下随光波长增加韭菜迟眼蕈蚊的交配率降低,该现象与前人的研究结果不同。推测造成这种差异的原因可能是三者对光谱的敏感性不同。

单雌产卵量和卵孵化率是昆虫生殖行为和繁殖力的关键指标,其最终表现为有效后代数量或种群发展趋势。本试验结果表明不同波长 LED 光源显著影响韭菜迟眼蕈蚊卵孵化率及有效后代数量,其中蓝光下其单雌产卵量和卵孵化率均为最低,导致其有效后代数量显著减少,对其繁殖不利。研究发

现很多双翅目雄性昆虫通过交配将雄性附腺分泌物转移到雌虫生殖道中,其分泌物中含有一种 Acp36DE 蛋白,能够提高精子的竞争力,帮助雌虫储存精子,促进排卵(Chapman *et al.*, 2000; 高熹等, 2008)。据此推测韭菜迟眼蕈蚊在蓝光下产卵量减少可能是抑制了雄性附腺分泌物的活性。蓝光下卵孵化率显著降低可能是该光源抑制受精卵活性,使部分受精卵不能顺利孵化。但关于韭菜迟眼蕈蚊雄性附腺分泌物以及具体的光调控机制还有待于更深入的研究。

本试验研究得出橙光抑制其求偶、交配和繁殖,这与橙色(供试卡纸的反射光谱为橙光波段)抑制韭菜迟眼蕈蚊繁殖的报道一致(王占霞等, 2015); 蓝光虽有利于其求偶和交配,但明显抑制其繁殖,这可能与光降低了其交配质量有关。这一研究结果表明改变光环境可能是防治韭菜迟眼蕈蚊的一种潜在手段,同时也为开发通过灯光干扰害虫行为活动来防治害虫的新技术提供了理论基础。但室内环境与田间自然生境存在较大差异,有待于在田间自然生境中进一步研究验证。

参考文献 (References)

- Bai GY, Ma HK, Wang XY, Wu LL, Shen GS, Gu XS, Ruan WB, 2015. Research progress on controlling *Bradysia odoriphaga* by entomopathogenic nematodes. *China Plant Protect.*, 35(4): 25 – 33. [白光瑛, 马海鲲, 王孝莹, 吴林林, 沈广爽, 谷希树, 阮维斌, 2015. 利用昆虫病原线虫防治韭菜迟眼蕈蚊的研究进展. 中国植保导刊, 35(4): 25 – 33]
- Chapman T, Neubaum DM, Wolfner MF, Partridge L, 2000. The role of male accessory gland protein Acp36DE in sperm competition in *Drosophila melanogaster*. *Proc. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.*, 267(1448): 1097 – 1105.
- de Cock R, Faust L, Lewis S, 2014. Courtship and mating in *Phaenicia reticulata* (Coleoptera: Lampyridae): male flight behaviors, female glow displays, and male attraction to light traps. *Fla. Entomol.*, 97(4): 1290 – 1307.
- Duan Y, Wu YQ, Jiang YL, Wu RH, Zhao MQ, 2009. Effects of LED (light emitting diode) illumination on light adaptation and mating of *Helicoverpa armigera*. *Acta Ecol. Sin.*, 29(9): 4727 – 4731. [段云, 武予清, 蒋月丽, 吴仁海, 赵明茜, 2009. LED 光照对棉铃虫成虫明适应状态和交尾的影响. 生态学报, 29(9): 4727 – 4731]
- Feng HQ, Zheng FQ, 1987. Studies of the occurrence and control of *Bradysia odoriphaga* Yang et Zhang. *J. Shandong Agric. Univ.*, 18(1): 71 – 80. [冯惠琴, 郑方强, 1987. 韭蛆发生规律及防治研究. 山东农业大学学报, 18(1): 71 – 80]
- Gao X, Wu GX, Ye GY, 2008. The function of male accessory gland secretions of insects. *J. Yunnan Univ.*, 30(S1): 152 – 159. [高

熹, 吴国星, 叶恭银, 2008. 昆虫雄性附腺分泌物的生理功能. 云南大学学报, 30(S1): 152 – 159]

Goretti E, Coletti A, Veroli AD, Giulio AMD, Gaino E, 2011. Artificial light device for attracting pestiferous chironomids (Diptera): a case study at Lake Trasimeno (Central Italy). *Ital. J. Zool.*, 78(3): 336 – 342.

Harris MO, Rose S, Malsch P, 1993. The role of vision in the host plant-finding behaviour of the Hessian fly. *Physiol. Entomol.*, 18(1): 31 – 42.

Jiang YL, Duan Y, Wu YQ, 2008. Effects of green-yellow light with three different wavelengths on the oviposition biology of *Spodoptera exigua* (Hübner). *Acta Phytophyl. Sin.*, 35(5): 473 – 474. [蒋月丽, 段云, 武予清, 2008. 三种不同波长绿-黄光对甜菜夜蛾产卵生物学的影响. 植物保护学报, 35(5): 473 – 474]

Katsuki M, Arikawa K, Wakakuwa M, Omae Y, Okada K, Sasaki R, Shinoda K, Miyatake T, 2013. Which wavelength does the cigarette beetle, *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae), prefer? Electrophysiological and behavioral studies using light-emitting diodes (LEDs). *Appl. Entomol. Zool.*, 48(4): 547 – 551.

Li CJ, Wang Y, Xu YL, Zhang ZM, Meng J, Yao Q, Song J, 2013. Efficacy of a mixed formulation of *Heterorhabditis bacteriophora* ZT (Heilongjiang isolate) and *Steinernema carpocapsae* All against *Bradysia odoriphaga*. *Chin. J. Appl. Entomol.*, 50(1): 235 – 241. [李春杰, 王义, 许艳丽, 张志明, 孟洁, 姚钦, 宋洁, 2013. 寒区昆虫病原线虫对韭菜迟眼蕈蚊的防治研究. 应用昆虫学报, 50(1): 235 – 241]

Li HJ, He XK, Zeng AJ, Liu YJ, Jiang SR, 2008. Evidence of a female sex pheromone in *Bradysia odoriphaga* (Diptera: Sciaridae). *Can. Entomol.*, 140(3): 324 – 326.

Malaquias JB, Ramalho FS, Fernandes FS, Nascimento Júnior JL, Correia ET, Zanuncio JC, 2010. Effects of photoperiod on reproduction and longevity of *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 103(4): 603 – 610.

Mu W, Liu F, Jia ZM, He MH, Xiang GF, 2003. A simple and convenient rearing technique for *Bradysia odoriphaga*. *Entomol. J. East China*, 12(2): 87 – 89. [慕卫, 刘峰, 贾忠明, 何茂华, 相冠锋, 2003. 韭菜迟眼蕈蚊筒便人工饲养技术. 华东昆虫学报, 12(2): 87 – 89]

Omkar, Mishra G, Singh K, 2005. Effects of different wavelengths of light on the life attributes of two aphidophagous ladybirds (Coleoptera: Coccinellidae). *Eur. J. Entomol.*, 102(1): 33 – 37.

Qu CM, 2013. The measures for preventing and controlling *Pyrausta nubilalis*. *China Plant Protect.*, 33(4): 30 – 31, 27. [曲昌明, 2013. 玉米螟绿色防控技术措施探索与实践. 中国植保导刊, 33(4): 30 – 31, 27]

Sakai T, Isono K, Tomaru M, Fukatami A, Oguma Y, 2002. Light wavelength dependency of mating activity in the *Drosophila melanogaster* species subgroup. *Genes. Genet. Syst.*, 77: 187 – 195.

Shimoda M, Honda KI, 2013. Insect reactions to light and its applications to pest management. *Appl. Entomol. Zool.*, 48: 413 – 421.

Sun YX, Tian A, Zhang XB, Zhao ZG, Zhang ZW, Ma RY, 2014. Phototaxis of *Grapholitha molesta* (Lepidoptera: Olethreutidae) to different light sources. *J. Econ. Entomol.*, 107(5): 1792 – 1799.

Wang CX, Liu JP, Liu ZL, Xue M, 2014. Occurrence characteristics and control measures of *Bradysia odoriphaga* on leek in winter facilities and open field cultivation. *North. Hortic.*, (22): 113 – 117. [王承香, 刘建平, 刘振龙, 薛明, 2014. 韭菜设施和露地栽培中韭蛆的发生和防治对策. 北方园艺, (22): 113 – 117]

Wang ZX, Fan F, Wang ZY, Han YH, Yang XF, Wei GS, 2015. Effects of environmental color on biological characteristics of *Bradysia odoriphaga* (Diptera: Sciaridae). *Acta Entomol. Sin.*, 58(5): 553 – 558. [王占霞, 范凡, 王忠燕, 韩艳华, 杨小凡, 魏国树, 2015. 环境颜色对韭菜迟眼蕈蚊生物学特性的影响. 昆虫学报, 58(5): 553 – 558]

Wu HB, Gong QT, Zhang KP, Zhang XP, Sun RH, 2015. The efficacy of synergism of entomopathogenic nematodes and black sticky cards to *Bradysia odoriphaga*. *Acta Phytophyl. Sin.*, 42(4): 632 – 638. [武海斌, 宫庆涛, 张坤鹏, 张学萍, 孙瑞红, 2015. 昆虫病原线虫与黑色粘板配合使用对韭菜迟眼蕈蚊的防治. 植物保护学报, 42(4): 632 – 638]

Zhang Y, Liu JZ, 2003. Application and study of insect sex pheromone. *Bull. Biol.*, 38(12): 7 – 10. [张岩, 刘敬泽, 2003. 昆虫的性信息素及其应用. 生物学通报, 38(12): 7 – 10]

Zheng LX, Zheng Y, Wu WJ, Fu YG, 2014. Field evaluation of different wavelengths light-emitting diodes as attractants for adult *Aleurodicus dispersus* Russell (Hemiptera: Aleyrodidae). *Neotrop. Entomol.*, 43: 409 – 414.

Zhu JL, Zhu W, Liu HE, Lu YR, Zhang CM, 2014. Effects of LED lights on phototaxis and reproduction of small brown planthopper. *Jiangsu J. Agric. Sci.*, 30(3): 508 – 513. [朱锦磊, 朱伟, 刘怀阿, 陆玉荣, 张春梅, 2014. 灰飞虱对 5 种波长 LED 的趋光性比较及蓝光对灰飞虱繁殖力的影响. 江苏农业学报, 30(3): 508 – 513]

(责任编辑: 袁德成)